

OPINIÃO

Ferramenta de avaliação técnico-econômica de ônibus elétricos urbanos municipais

*Por Flávio Raposo de Almeida, Glaucio Vinicius Ramalho Faria, Luciano Basto de Oliveira e Natália Gonçalves de Moraes **

Em virtude da deterioração ambiental nas grandes cidades, principalmente em relação à qualidade do ar, a inserção de ônibus elétricos torna-se cada vez mais pertinente como alternativa aos ônibus a diesel. No entanto, a participação das tecnologias híbrida e elétrica no licenciamento destes veículos sequer consta nas estatísticas do setor automotivo.

A principal causa está relacionada à metodologia das licitações municipais para aquisição de veículos coletivos urbanos, tradicionalmente baseada em custo de aquisição, o que desfavorece os ônibus elétricos à bateria, devido ao seu valor de compra superior. Todavia, projetos-piloto e estudos nacionais e internacionais têm demonstrado a viabilidade dos ônibus elétricos quando avaliados segundo o custo total de propriedade, basicamente devido aos seus custos operacionais inferiores ao longo da vida útil (ICCT, 2017).

No Brasil, onde o transporte público urbano nos municípios conta com uma frota de 107 mil ônibus, sendo responsável por 86% dos deslocamentos no transporte coletivo de passageiros (NTU, 2018), merecem destaque as iniciativas dos governos locais como São Paulo, Salvador, Curitiba e Brasília. Nestas cidades, a adoção de ônibus elétricos tem sido viabilizada através de linhas de financiamento específicas; parcerias com o setor privado; artifícios para promoção desta tecnologia nos editais de concessão do serviço de operação de transporte por ônibus; e elaboração de novos modelos de negócios.

A proposta da ferramenta de avaliação técnico-econômica de ônibus elétricos urbanos municipais é, portanto, identificar as principais variáveis envolvidas na análise de substituição de ônibus a diesel por elétricos e permitir ao usuário explorá-las a fim de avaliar a viabilidade desta alternativa de motori-

zação no seu município, propiciando a redução da assimetria de informação sobre o assunto.

MOTIVAÇÕES PARA A ELETRIFICAÇÃO DE ÔNIBUS NO BRASIL

Os veículos leves têm sido o principal alvo do processo de eletrificação devido ao seu elevado peso no consumo de combustíveis fósseis na matriz energética global. No Brasil, os veículos híbridos e elétricos somaram 0,2% do total dos 2,5 milhões de veículos leves licenciados em 2018, representando um segmento de mercado considerado de luxo (EPE, 2018). Por outro lado, o percentual de licenciamentos de veículos *flex fuel* superior a 80%, associado à expressiva produção e uso de biocombustíveis, confere ao país uma posição particular que permite que o processo de transformação tecnológica possa ter ritmo mais moderado e gradual.

Ademais, a conjuntura brasileira, marcada pela elevada concentração de renda e associada às restrições orçamentárias do governo, pressupõe que a eletrificação do transporte público coletivo seja mais adequada, visto que as vantagens de sua adoção podem ser conciliadas com os diversos princípios sobre os quais a Política Nacional de Mobilidade Urbana está fundamentada, tais como a justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso de diferentes modais; bem como os serviços e a equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros.

Pelo lado da saúde pública, a inserção de ônibus urbanos de zero emissão podem trazer contribuições relevantes. Segundo o *International Council on Clean Transportation* (ICCT), os dados da rede de monitoramento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) indicam que, em 2015, os padrões diários e anuais de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) foram ultrapassados em pelo menos dois terços dos dias para os poluentes MP_{10}, $MP_{2,5}$ e O_3, trazendo prejuízos graves para a saúde dos cidadãos, que incluem doenças cardíacas, acidentes vasculares cerebrais, câncer de pulmão, asma e doenças pulmonares obstrutivas crônicas (ICCT, 2017).

Além disso, há o potencial de redução na emissão de CO_2 proveniente da substituição da queima de diesel pela eletricidade, considerando-se todo o seu ciclo de vida. No Brasil, este potencial é reforçado pela alta participação de energia renovável na matriz de geração de energia elétrica, a qual atingiu 83% em 2018 (EPE, 2018).

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA

A metodologia da ferramenta foi baseada em uma modelagem *bottom-up*[1] (ascendente) paramétrica e os resultados da análise foram verificados por indicadores financeiros de projeto como TIR, Payback, VPL e Custo Total de Propriedade ao longo da vida útil do projeto de investimento, que considera a substituição de um ônibus a diesel por um equivalente elétrico a bateria. A subdivisão metodológica buscou facilitar a interação com o usuário por meio de três módulos representados como perguntas, conforme pode ser visualizado na Figura 1 e detalhado a seguir.

[1] Nos modelos 'bottom-up' ou ascendentes busca-se fazer uma descrição detalhada da estrutura tecnológica da conversão e do uso da energia, e os modelos paramétricos, também conhecidos como modelos contábeis, são aqueles nos quais as projeções energéticas são fortemente baseadas em especificações determinadas pelo próprio usuário.

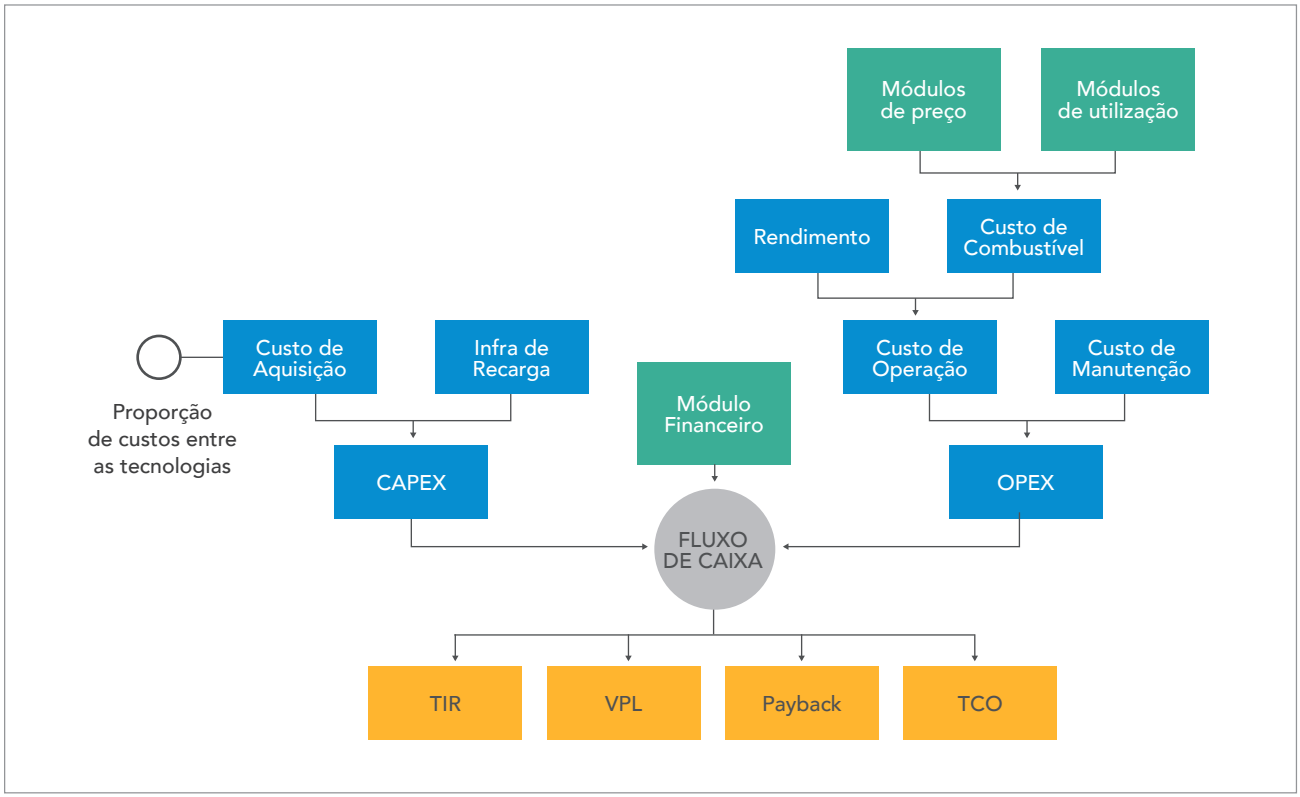
Módulo de Utilização: Quanto se usa de transporte?
O nível de atividade de transporte público pode ser determinado informando a distância média anual praticada pelos ônibus urbanos no município em questão, juntamente com a quantidade de modelos elétricos planejados para a inclusão na frota.

Módulo de Preços: Quanto custa cada tecnologia?
As componentes *Capital Expenditure* (CAPEX) e *Operational Expenditure* (OPEX) fazem parte da resposta a esta pergunta. Os custos de aquisição dos ônibus diesel e elétrico[2], bem como o custo de infraestrutura de recarga das baterias dos ônibus elétricos são considerados custos fixos assumidos como CAPEX. Variáveis como rendimento dos ônibus a diesel (km/l) e dos ônibus elétricos (km/kWh), custo dos energéticos[3] e custo de manutenção (especificado em R$/km) são componentes do OPEX e constituem o custo variável anual (avaliados em R$/ano) de cada uma das tecnologias de motorização. Precisamente no que se refere aos custos dos energéticos, as variáveis envolvidas são o preço[4] do óleo diesel comercializado pela operadora de transporte público; a potência em kW do carregador de bateria; a duração em horas do processo de recarga; e a distribuidora[5] de energia elétrica listada no subgrupo de tensão A4.

Módulo Financeiro: Como pagar por elas?
Os custos de aquisição dos ônibus podem ser financiados segundo uma estrutura de capital composta pelo empreendedor e por uma instituição financeira, a fim de reduzir a taxa de juros aplicada ao modelo de financiamento: *Weight Average Capital Cost* (WACC) ou Custo Ponderado Médio de Capital (CPMC). Tal modelo de financiamento utiliza variáveis como custo de capital próprio, custo de financiamento e percentual financiado do projeto de investimento. Adicionalmente, o prazo de financiamento dos ônibus fica limitado ao valor máximo da sua vida útil[6] e o valor de revenda é atribuído pelo usuário e expresso como valor percentual do custo de aquisição dos ônibus.

2 A proporção de custos entre as tecnologias é um fator multiplicador de custo que determina "quantas vezes" um ônibus elétrico é mais caro do que o seu equivalente convencional a diesel.
3 O usuário possui ainda a possibilidade de optar pela contratação de serviços de fornecimento de eletricidade via geração distribuída (GD), por meio de energia solar, biomassa, eólica, entre outras, o que possibilita a redução da sua tarifa de energia elétrica em torno de 10%, conforme avaliação de Greener (2018).
4 Em caso de dúvida a ferramenta disponibiliza a título de comparação e consulta a evolução dos preços por Unidade Federativa (UF) atualizados para janeiro de 2019 pela inflação (IPCA).
5 A escolha da concessionária ou permissionária de energia elétrica influencia o valor da tarifa de eletricidade, bem como a sua decomposição de custos.
6 A vida útil dos ônibus foi assumida como cinco anos para os ônibus diesel e dez anos para os ônibus elétricos.

Figura 1: Fluxograma da modelagem bottom-up presente na metodologia da ferramenta



CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES PRINCIPAIS

Os ônibus elétricos podem vir a ser uma alternativa ao uso dos ônibus a diesel convencionais nas cidades brasileiras. Por meio desta ferramenta, buscamos atrair a atenção dos interessados a avaliar a viabilidade de adoção destes veículos em suas frotas municipais, ou até mesmo identificar quais seriam os maiores obstáculos para a adoção desta alternativa ao sistema de transporte público rodoviário.

Soluções em cidades e comunidades sustentáveis devem compreender questões econômicas, sociais e ambientais. A substituição de ônibus a diesel por tecnologias alternativas visa contemplar tais aspectos. Apesar do custo de aquisição superior do ônibus elétrico, os custos de energia e manutenção são inferiores, levando à sua viabilidade em alguns casos. Alguns benefícios diretos da substituição são a melhoria da qualidade do ar nos centros urbanos, a redução do nível de ruído e a possível melhoria da qualidade do material rodante no serviço de transporte. Adicionalmente, os ônibus elétricos permitem a redução da emissão de CO_2 oriunda da queima do óleo diesel, além de poluentes locais nocivos à saúde.

Ferramentas de avaliação de alternativas tecnológicas não se resumem a estimular a adoção de novas tecnologias. O seu objetivo principal é identificar as principais variáveis envolvidas no uso de cada alternativa, permitindo ao usuário explorá-las a fim de testar a viabilidade técnico-econômica para a adoção de inovações e reduzir a assimetria de informação. No entanto, a grande contribuição para o enriquecimento da análise das condições ótimas de substituição de ônibus a diesel por ônibus elétricos advém da maior disponibilidade de dados reais, opinião de especialistas e das organizações públicas, privadas e do terceiro setor.

O desenvolvimento da indústria de eletromobilidade possibilitaria a maior competitividade entre fabricantes e viabilizaria o crescimento da escala de produção, propiciando maior variabilidade de preços e modelos de veículos, além da maior adequação às características operacionais dos ônibus nas cidades. É importante também destacar que a tendência mundial de redução do custo da bateria elétrica deve repercutir no preço final de aquisição do ônibus elétrico, tornando o custo operacional ao longo da vida útil cada vez menos relevante para a sua competitividade, pela ótica do custo total de propriedade.

REFERÊNCIAS

EPE (2018). Balanço Energético Nacional 2018: Ano-base 2017. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://bit.ly/2DBKKo9>.

ICCT (2017). International Council on Clean Transportation: Financing the transition to sootfree urban bus fleets in 20 megacities. Washington, DC USA. 2017. International Council on Clean Transportation.

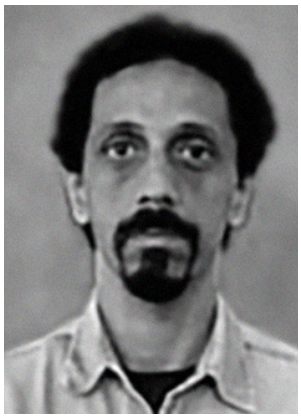
NTU (2018). Associação nacional das empresas de transportes urbanos: Anuário NTU: 2017-2018 / Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. - Brasília: NTU, 2018.



Flávio Raposo de Almeida é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética. Bacharel em Engenharia de Produção (UFRJ) e Engenharia Generalista (École Centrale de Nantes). Mestre em Planejamento Energético (PPE/COPPE/UFRJ).



Glaucio Vinicius Ramalho Faria é Consultor Técnico na Empresa de Pesquisa Energética Bacharel em Engenharia Elétrica (UFRJ). Especialista em Gestão de Projetos (Ibmec).



Luciano Basto de Oliveira é Consultor Técnico na Empresa de Pesquisa Energética Licenciatura em Matemática. Especialista em Análise Ambiental e Gestão do Território (ENCE/IBGE). Mestre e Doutor em Planejamento Energético (PPE/COPPE/UFRJ)



Natália Gonçalves de Moraes é Analista de Pesquisa Energética da Empresa de Pesquisa Energética Bacharel em Economia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Instituto Superior de Economia e Gestão (ISEG). Mestre em Planejamento Energético (PPE/COPPE/UFRJ)

* Este texto é de inteira responsabilidade do autor e não reflete necessariamente a linha programática e ideológica da FGV.